

Arkadiusz Gola ¹⁾, Marta Osak ²⁾

MODELOWANIE PODSYSTEMU OBRABIAREK W ESP CZĘŚCI KLASY KORPUS Z WYKORZYSTANIEM PROGRAMU ENTERPRISE DYNAMICS

Streszczenie: Złożoność problemów techniczno-organizacyjnych, z którymi borykają się przedsiębiorstwa wytwórcze, powoduje, że potrzebne są metody i narzędzia umożliwiające wspomaganie projektowania nowych systemów wytwórczych, jak również reorganizację istniejących systemów wytwórczych. Z tego też powodu narzędziem, które znajduje coraz szersze zastosowanie o obszarze inżynierii produkcji są symulacje komputerowe. W niniejszym opracowaniu została zaprezentowana możliwość wykorzystania metod symulacji komputerowej do weryfikacji rozwiązania w postaci doboru obrabiarek dla ESP klasy korpus, będącego wynikiem realizacji procedury doboru. Jako narzędzie symulacji zastosowano program Enterprise Dynamics.

Słowa kluczowe: symulacje komputerowe, Enterprise Dynamics, podsystem obrabiarek ESP.

WSTĘP

Złożoność problemów techniczno-organizacyjnych, z którymi borykają się przedsiębiorstwa wytwórcze, powoduje, że potrzebne są metody i narzędzia umożliwiające wspomaganie projektowania nowych systemów wytwórczych, jak również reorganizację istniejących systemów wytwórczych [6]. Problemem o kluczowym znaczeniu jest to, że w większości sytuacji, nawet w przypadku posiadania narzędzia metodologicznego wspomagającego projektanta w podejmowaniu określonych decyzji (np. dotyczących zakupu elementów wyposażenia systemu produkcyjnego, opracowania harmonogramów produkcji) nie ma rzeczywistej możliwości weryfikacji opracowanego modelu.

W przedstawionych powyżej przypadkach, pomocnym i powszechnie wykorzystywanym narzędziem są symulacje komputerowe [6, 10]. Modelowane symulacje komputerowe są sztucznym i przybliżonym odtworzeniem zachodzących zjawisk lub zachowań badanego obiektu za pomocą jego modelu [13]. W całości przeprowadzane są na komputerze, każdy element rzeczywisty obiektu ma przyporządkowany element w modelu. W programie komputerowym opisywane są wszystkie zauważalne relacje pomiędzy elementami, ich struktura i główne zada-

¹⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa.

²⁾ Politechnika Lubelska, Wydział Zarządzania, Katedra Organizacji Przedsiębiorstwa, Naukowe Koło Zarządzania Przedsiębiorstwem.

nia. Po właściwym zaprogramowaniu schematu przeprowadzane są symulacje, których zadaniem jest pokazanie przybliżonego rzeczywistego procesu. Otrzymane wyniki pomagają scharakteryzować procesy zachodzące w danym systemie. Tak skonstruowane narzędzie badawcze pomaga w analizie takich czynników jak przepływ materiałów, środków finansowych i informacji. Metoda ta ułatwia zaprojektowanie optymalnego systemu, w przypadku gdzie definiowane są kryteria oceny, np. koszty, wydajność systemu, obciążenie maszyn [11, 12].

Jednym z problemów o kluczowym znaczeniu, w zakresie projektowania systemów wytwórczych jest zagadnienie odpowiedniego doboru maszyn technologicznych do projektowanego systemu. Jest to pierwszy etap projektowania, który w dużej mierze decyduje o wydajności, efektywności i produktywności całego systemu. Między innymi z tego powodu, powstało wiele rozwiązań metodologicznych, których celem jest komputerowe wspomaganie decyzji w zakresie doboru maszyn technologicznych m.in. dla konwencjonalnych systemów produkcyjnych [1], elastycznych systemów produkcyjnych [8], czy też rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych [2].

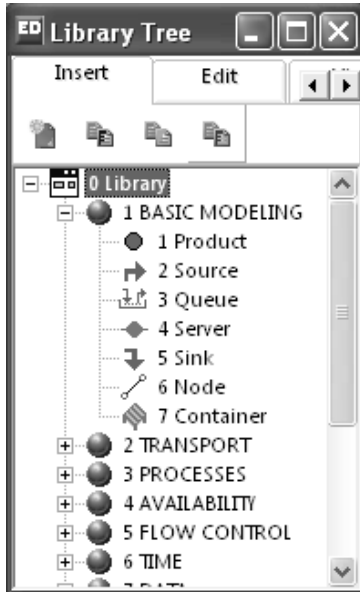
W każdym z rozwiązań prezentowanych w literaturze, efektem końcowym jest wynik w postaci jakościowego i ilościowego doboru obrabiarek dla systemu dedykowanego do obróbki określonej grupy (rodziny) części. Jednakże, w każdym z tych rozwiązań dodatkową kwestią pozostaje weryfikacja otrzymanego rozwiązania, która jest trudnym zadaniem ze względu na brak możliwości przeprowadzenia jej (w większości przypadków) na rzeczywistym modelu. W niniejszym opracowaniu zostanie zaprezentowana możliwość wykorzystania metod symulacji komputerowej do weryfikacji rozwiązania w postaci doboru obrabiarek dla ESP klasy korpus, będącego wynikiem realizacji procedury doboru zaprezentowanej w pracach [4, 7]. Jako narzędzie symulacji zastosowano program Enterprise Dynamics.

MODELOWANIE W ENTERPRISE DYNAMICS

Enterprise Dynamic (ED) jest oprogramowaniem do modelowania i symulacji. Wizualno-symulacyjny pakiet zawiera w sobie wiele obiektów symulacyjnych do zastosowania, np. wytwarzanie, magazynowanie, transport, komunikacja i kontrola. Integralnym elementem systemu jest język programowania 4DScript, pozwalający na programowanie nowych funkcji, budowę nowych obiektów oraz tworzenie interfejsu użytkownika [3].

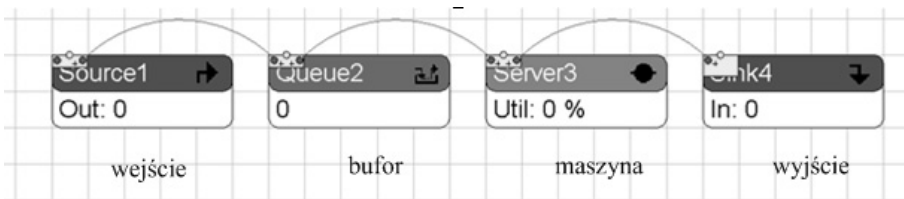
Tworzenie modelu symulacyjnego w ED polega na wyborze obiektów z biblioteki (Library Tree), i rozmieszczeniu ich na planie modelu. Podstawowe obiekty dostępne są w grupie Basic Modeling, która zawiera następujące elementy składowe, przedstawione na rys. 1.

Przykładem najprostszego modelu, jaki może być przedmiotem symulacji, jest model jednomaszynowy składający się z wejścia (Source), bufora (Queue), maszyny (Server), wyjścia (Sink), który zamieszczono na rys. 2.



Rys. 1. Widok Biblioteki ED

Product – zdefiniowany jako: produkt, dokumenty, osoby,
Source – wejście, wprowadzenie produktów do modelu,
Queue – kolejka/bufor, magazynowanie międzyoperacyjne,
Server – stanowisko pracy, maszyna,
Sink – wyjście, atom opuszczenia modelu produkt,
Node – węzeł transportowy,
Container – pojemnik do składowania obiektów.



Rys. 2. Model jednomaszynowy

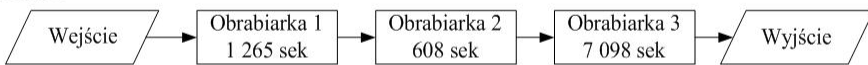
Podczas budowy modelu wymagane jest dokładne ustalenie parametrów, zdefiniowanie czasu, zaznaczenie kanałów przepływu, istnieje także możliwość ustawienia raportów. Na podstawie wyników symulacji można ocenić dokładność odwzorowania procesów rzeczywistych w modelu. Można wprowadzać zmiany parametrów modelu i obserwować zmiany zachodzące w kolejnych symulacjach i na tej podstawie zbudować model charakteryzujący się najlepszą efektywnością procesów.

MODEL PROCESU PODSYSTEMU OBRABIAREK ELASTYCZNEGO SYSTEMU PRODUKCYJNEGO

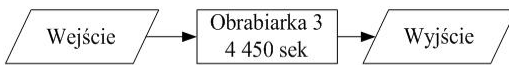
W przeprowadzonym eksperymencie symulacyjnym, analizowano model podsystemu obrabiarek elastycznego systemu produkcyjnego do obróbki części korpus złożonego z maszyn technologicznych: MCFV1680 (Obrabiarka 2) - 3 szt., TOSTec PRIMA (Obrabiarka 3) - 3szt., MCX900 (Obrabiarka 1) - 1szt. Dane

dotyczące jednostkowego czasu wykonania zabiegu na poszczególnych obrabiarkach zostały uzyskane od producentów bądź dystrybutorów obrabiarek. Wyroby Korpus_1, Korpus_2 i Korpus_3, pojawiają się na wejściu do systemu w sposób losowy, zarówno jeśli chodzi o czas wejścia, jak i ilość wyrobów wchodzących do systemu. Średnie roczne programy produkcyjne części przyjęto na poziomie: Korpus_1 - 3950szt., Korpus_2 – 5435szt., Korpus_3 – 3160szt. Przyjęto, iż projektowany ESP pracował będzie w systemie trójzmianowym, 365 dni w roku - w tym zaplanowano 15 dni planowanych przestojów związanych z przeglądami i konserwacją urządzeń w systemie oraz 3% czasu na nieplanowane przestoje systemu. Współczynnik udziału czasu operacji transportowych i magazynowania międzyoperacyjnego w projektowanym systemie przyjęto na poziomie 10%. Marszruty technologiczne obróbki poszczególnych wyrobów zostały przedstawione na rys. 3.

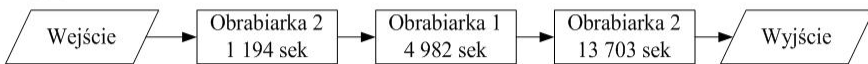
KORPUS 1



KORPUS 2

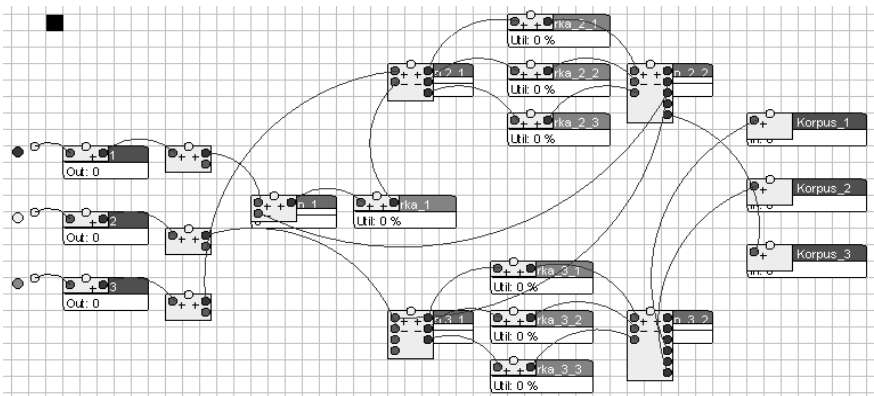


KORPUS 3



Rys. 3. Marszruty technologiczne wyrobów Korpus_1, Korpus_2, Korpus_3

W oparciu o przyjęte założenia, zbudowano model procesu podsystemu obrabiarek elastycznego systemu produkcyjnego w Enterprise Dynamics, przedstawiony na rysunku 4.



Rys. 4. Model podsystemu obrabiarek ESP z uwidocznieniem połączeń między obiektami

PARAMETRY PROCESU SYMULACJI

Symulacja jest prowadzona w okresie rozliczeniowym 1 roku, w trakcie którego do systemu jest wprowadzana liczba wyrobów wynikająca z przyjętej wielkości programu produkcyjnego. Założono, że wyroby Korpus_1, Korpus_2 i Korpus_3 wchodzi do systemu losowo przez trzy różne wejścia. W celu zdefiniowania losowości czasowego wejścia wyrobów zastosowano funkcję *Uniform* sparametryzowaną w przypadku kolejnych wyrobów jako: Korpus_1: *Uniform(0,13176)*, Korpus_2: *Uniform(0,9576)*, Korpus_3: *Uniform(0,16470)*. Ze względu na charakter analizowanego zagadnienia czasu transportu wyrobów pomiędzy stanowiskami przyjęto na poziomie zerowym. Na podstawie przebiegu procesu technologicznego zamodelowano przejścia poszczególnych wyrobów w modelu (Kanały) – rys. 7. Kierowanie wyrobów do obrabiarek zgodnych z przebiegiem marszruty technologicznej realizowane jest według komendy wpisanej w polu *Trigger on exit*. Czas jednostkowy realizacji operacji na określonych obrabiarkach (*cycletime*) został wyrażony w języku programowania 4DScript. Język 4DScript został zastosowany do sparametryzowania zarówno obrabiarek, jak też produktów i magazynów. Zostało to spowodowane faktem, że każdy produkt charakteryzuje się innym czasem wykonania operacji na różnych obrabiarkach i różnymi marszrutami technologicznymi. Struktura skryptów w języku 4DScript dla przykładowych obiektów została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Struktura skryptów dla przykładowych atomów

Typ przykładowego obiektu	Treść skryptu
Product: Korpus_1	<u>Trigger on exit:</u> Do(SetLabel([Czas1],Mins(21.087),i),SetLabel([Czas2],Mins(10.1315),i),SetLabel([Czas3],Mins(118.308),i),SetLabel([Stanowisko2],1,i),SetLabel([Stanowisko3],2,i),SetLabel([Stanowisko4],4,i),SetLabel([Kanal],3,i),SetLabel([Krok],1,i))
Source: Magazyn_1	<u>Trigger on exit:</u> Do(SetLabel([Kanal],Case(Label([Krok],i),Label([Stanowisko2],i),Label([Stanowisko3],i),Label([Stanowisko4],i),i))
Server: Obrabiar- ka_2_1	<u>Trigger on exit:</u> SetLabel([Krok],Label([Krok],i)+1,i) <u>Cycletime:</u> Case(Label([Krok],i),Label([Czas1],i), Label([Czas2],i), Label([Czas3],i))

W przypadku przepływu wyrobów wykorzystano zasadę FIFO (First In First Out). W przypadku wystąpienia kilku obrabiarek tego samego typu, wyrób wchodzi na tę obrabiarkę, która pierwsza się zwolni, lub jeśli w danym momencie jest kilka wolnych obrabiarek – wybór maszyny, do której zostanie wysłany wyrób następuje w sposób losowy (funkcja: *Send to: A random open channel: choose a random channel from all the open output channel*). Biorąc pod uwagę przyjęte założenia czasu pracy systemu oraz przyjęte współczynniki czasu operacji magazynowania międzyoperacyjnego czas symulacji odpowiadający okresowi jednego

roku przyjęto na poziomie 7333,2 godz. $((365 - 15) \text{ dni} * 24 \text{ godz./dzień} * 0,97 * 0,9)$. W procesie produkcyjnym części Korpus_1 mają miejsce dwa zamocowania jednoznaczne z przejściem wyrobu ze stanowiska na stanowisko. Obróbka zaczyna się na Obrabiarkę_1, następnie część trafia na Obrabiarkę_2, po zakończeniu tej operacji trafia na Obrabiarkę_3. W przypadku wyrobu Korpus_2 obróbka odbywa się „na gotowo” na poziomie centrum obróbkowym Obrabiarka_3. Proces technologiczny wyrobu Korpus_3 zaczyna się od obróbki na stanowisku Obrabiarka_2, po czym element trafia na stanowisko Obrabiarka_1, prace kończone są na Obrabiarkę_2. Po zakończeniu procesu wyroby przesyłane są do kanału wyjścia gdzie trafiają zgodnie z etykietą, np.: Korpus_1 – Wyjście Korpus_1.

WYNIKI SYMULACJI

Wykorzystując założone parametry obiektów wykonano szereg symulacji procesu produkcyjnego, zaobserwowano zbliżone wyniki. Wyniki zbiorcze z przeprowadzonych 25 symulacji zostały przedstawione w tab. 1 i 2. Przedmiotem analizy były parametry dotyczące magazynów takie jak: maksymalny stan, zajętość, stan w magazynie, oczekiwanie wyrobu w magazynie na obróbkę. Niska zajętość magazynów międzyoperacyjnych oraz krótkie czasy oczekiwania części na obróbkę potwierdzają dużą płynność realizacji procesu wytwarzania. Istotne znaczenie dla prawidłowej pracy modelu miał fakt, że ani razu nie wystąpiło zjawisko „zatkania systemu” związane z przeciążeniem obrabiarek i/lub przekroczonym ustalonym stanem magazynu międzyoperacyjnego. Obciążenie poszczególnych obrabiarek, wskazuje na poprawność realizacji etapu ilościowego doboru – w przypadku kilku obrabiarek jednego typu obciążenie wszystkich maszyn z danej grupy waha się w granicach 60-80% co oznacza, iż jest ich odpowiednia ilość. Średni czas obróbki wyrobu syntetycznego $(w_1+w_2+w_3)$ wynosi 41810 sekund.

Tabela 2. Uśrednienie wyników symulacji dotyczących Magazynów

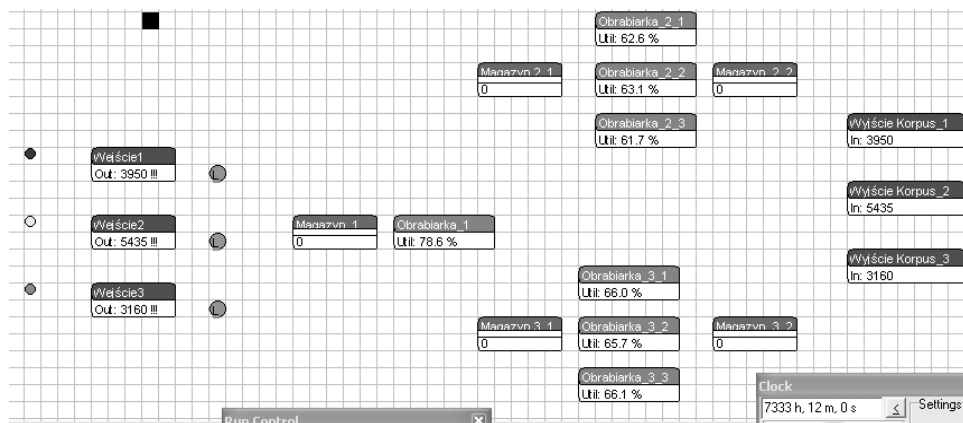
Magazyny:	Mag 1	Mag.2	Mag.3
Średni stan:			
Maksymalny stan magazynu (w szt.)	10,6	4,8	6,4
Zajętość magazynu (w %)	47,38	6,7	14,47
Średni stan w magazynie (w szt)	0,916	0,085	0,21
Średni czas oczekiwania na obróbkę (w sek)	3401,369	220,242	590,9

Tabela 3. Uśrednienie wyników symulacji dotyczących Obrabiarek

Obrabiarka:	X ₁	X _{2_1}	X _{2_2}	X _{2_3}	X _{3_1}	X _{3_2}	X _{3_3}
Średni stan:							
Średnie obciążenie obrabiarki w trakcie procesu symulacji (w %)	78,6	62,5	62,4	62,5	65,9	65,9	66

Widok modelu po zakończeniu przykładowej symulacji pokazano na rysunku 5. Każdy atom modelu na bieżąco wyświetlane ma najważniejsze parametry

try procesu. Istotne jest pokazywanie zajętości magazynów, ilości wyrobów które opuściły model i obciążenie obrabiarek.



Rys. 5. Widok modelu po zakończeniu symulacji

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonej symulacji przebiegu procesu wytwarzania wynika, iż podsystem obrabiarek oparty na otrzymanych rozwiązaniach jest w podanym przypadkach odpowiedni do realizacji zdefiniowanego zadania. Świadczą o tym zarówno sam przebieg procesu, jak również obciążenie poszczególnych obrabiarek i magazynu operacyjnego.

Podsystem wytwarzania oparty na obrabiarkach będących wynikiem procesu doboru jest w stanie zrealizować w sposób względnie płynny planowane zadania produkcyjne realizowane w zmiennych losowo (w sensie czasowym i ilościowym) zleceniach produkcyjnych. We wszystkich przypadkach modelowane podsystemy zrealizowały wprowadzoną do systemu liczbę wyrobów w 100%. Brak wykonania planu produkcyjnego na dany rok był spowodowany tylko i wyłącznie brakiem „zapuszczenia” do produkcji wszystkich wyrobów w zakładanym okresie (czasie symulacji), co wynika z przyjętej losowości czasu wejścia wyrobów. Nie wielkie odchylenia wyników obciążenia obrabiarek oraz wskaźników zajętości magazynów międzyoperacyjnych w trakcie kolejnych symulacji świadczą o dużej stabilności realizacji procesu produkcyjnego mimo stochastycznego charakteru procesu. W związku z powyższym można postawić tezę, iż otrzymane rozwiązanie jest prawidłowe i umożliwia realizację procesu produkcyjnego zgodnie z przyjętymi wymaganiami.

PIŚMIENNICTWO

1. Dashchenko A.I. (red.): Reconfigurable Manufacturing Systems and Transformable Factories, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2006.
2. Enterprise Dynamics – <http://www.enterprisedynamics.com>.
3. Gola A., Świć A.: Brief Preliminary Design for a Method of FMS Machine Tools Subsystem Selection, PAMM, Vol. 9, Issue 1, 2010, pp. 663-664.
4. Krupa K.: Modelowanie symulacja i prognozowanie, WNT, 2008.
5. Kampa A., Gołda G.: Modelowanie i symulacja przepływu produkcji w zrobotyzowanym gnieździe wytwórczym, „Zarządzanie Przedsiębiorstwem” 1/2009, s. 21-29.
6. Świć A. Gola A.: Elements of Design of Production Systems – Methodology of Machine Tool Selection in Casing-Class FMS, Management and Production Engineering Review, Vol. 1, No. 2, 2010, pp. 73-81.
7. Tolio T. (red.): Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2009.
8. Zawadzka L. (red.): Problemy zarządzania i inżynierii produkcji, WPG, 1999.
9. Zdanowicz R., Czopek M.: komputerowy system oceny efektywności funkcjonowania elastycznego gniazda produkcyjnego, „Mechanik” 3/1996, s 97-100.
10. Zdanowicz R., Świder J.: Modelowanie i symulacja systemów produkcyjnych w programie Enterprise Dynamics, WŚP, 2005.
11. Zdanowicz R.: Modelowanie i symulacja procesów wytwórczych, WPŚ, Gliwice 2002.
12. Zdanowicz R.: Modelowanie i symulacje procesów wytwarzania, WPŚ, Gliwice 2007.

MODELLING OF THE BODY-CLASS PARTS FMS MACHINE TOOL SUBSYSTEM USING THE ENTERPRISE DYNAMICS PROGRAM

Summary

Complexity of technical-organizational problems in manufacturing companies causes that there is requirement for methods and tools which helps both in the process of designing new manufacturing systems and in the process of reorganization existing systems. Because of this, the tool which is widespread in the area of production engineering are computer simulations. In this paper the possibility of use the computer simulation to verification the solution received in the process of machine-tools selection in casing-class FMS was presented. As a simulation tool the Enterprise Dynamics program was used.

Keywords: computer simulation, Enterprise Dynamics, FMS machine tools subsystem.